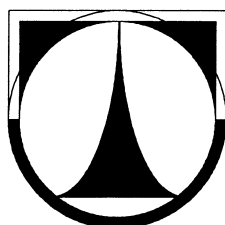


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Zvukově pohltivé materiály používané v automobilech

Sound-absorbing materials used in automobiles

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

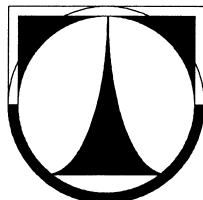
Michael Procházka

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 Strojírenství
Zaměření: 2302R022 stroje a zařízení
Dopravní stroje a zařízení

Zvukově pohltivé materiály používané v automobilech

Sound-absorbing materials used in automobiles

Bakalářská práce

KVM – BP – 225
Michael Procházka

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Novák, Ph.D.
Konzultant diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček

Počet stran: 40
Počet obrázků: 23
Počet grafů: 4
Počet tabulek: 2

Květen 2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Michael P R O C H Á Z K A
obor	B2341 Strojírenství
zaměření	2302R022 stroje a zařízení dopravní stroje a zařízení

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

ZVUKOVÉ POHLTIVÉ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILECH

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Popište základní akustické vlastnosti materiálů.
2. Popište typy materiálů používané pro snižování hluku v kolových vozidlech.
3. Popište metody měření akustické pohltivosti materiálů a tyto metody porovnejte.
4. Proveďte experimentální zkoušky měření akustické pohltivosti vzorků materiálů a částí interiéru vozidla.
5. Vyhodnoťte naměřené hodnoty a stanovte celkovou akustickou pohltivost interiéru vozidla.
6. Popište případná omezení výsledků a navrhnete možnosti jejich využití.
7. Cílem bakalářské práce je využití řešení v laboratořích KVM.



Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- | 1 | Richard Nový: Hluk a chvění. Vydavatelství ČVUT. Praha 2000.
- | 2 | Jiří Čechura: Stavební fyzika 10, Akustika stavebních konstrukcí, Vydavatelství ČVUT, Praha 1999.
- | 3 | Manuál Alfa kabina, TU v Liberci.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Novák, Ph.D. - TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Pavel Němeček - TU v Liberci, KVM



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 3. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeně lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Zvukově pohltivé materiály používané v automobilech

Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na zjištění akustických vlastností materiálů používaných v interiérech automobilů. Teoretická část je zaměřena na vlastnosti šíření zvuku, srovnání typu používaných materiálů a jejich možných způsobů měření. V praktické části bude provedeno experimentální měření v Alfa-kabině a interiéru vozidla. Na jejich základě budou navrženy možnosti využití výsledků v laboratořích KVM.

Klíčová slova: akustika, hluk, koeficient zvukové pohltivosti, alfa-kabina, akustické materiály

Sound-absorbing materials used in automobiles

Annotation

This thesis focuses on the detection of acoustic properties of materials used in car interiors. The theoretical part focuses on the propagation characteristics of sound, on the comparison of different types of usually used materials, and on the possible methods of their measurement. In the practical part of the paper, the process and results of experimental measurements made in an Alpha-cabin and in a car interior are discussed. These results will then be evaluated, and the options for using them in the laboratories of KVM can then be explored.

Key words: acoustic, noise, sound absorption coefficient, alpha-cabin, acoustic materials

Desetinné třídění:
Zpracovatel:
Dokončeno:
Archivní označení zprávy:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
2012

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....
podpis

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při měření v laboratoři, věcné rady a připomínky při zpracování práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za podporu při studiu.

Seznam symbolů a jednotek

c	Rychlost šíření akustické vlny	$[\text{ms}^{-1}]$
D	Stupeň zvukové izolace	$[\text{dB}]$
E	Dynamický modul pružnosti v tahu	$[\text{Nm}^{-2}]$
f	Kmitočet	$[\text{Hz}]$
I	Impedance zvuku	$[\text{Wm}^{-2}]$
L_p	Hladina akustického tlaku	$[\text{dB}]$
m''	Plošná hmotnost stěny	$[\text{kgm}^{-2}]$
N	Měrný kustický výkon	$[\text{Wm}^{-2}]$
p	Atmosferický tlak	$[\text{Pa}]$
P	Akustický výkon	$[\text{W}]$
p_0	Amplituda akustického tlaku	$[\text{Pa}]$
R	Stupeň vzduchové neprůzvučnosti	$[\text{dB}]$
S	Plošný obsah	$[\text{m}^2]$
T	Perioda	$[\text{s}]$
t	Čas	$[\text{s}]$
u	Akustická výchylka	$[\text{m}]$
u_0	Amplituda výchylky	$[\text{m}]$
v	Akustická rychlost	$[\text{ms}^{-1}]$
W	Energie	$[\text{J}]$
α	Koeficient zvukové pohltivosti	$[-]$
β	Činitel zvukové odrazivosti	$[-]$
ε	Činitel přeměny	$[-]$
λ	Vlnová délka	$[\text{m}]$
τ	Činitel průzvučnosti plochy	$[-]$
ω	Kruhová frekvence	$[\text{s}^{-1}]$

Obsah

1	Úvod	9
2	Teoretická část	10
2.1	Základní akustické vlastnosti materiálů	10
2.1.1	Akustika	10
2.1.2	Zvuk	10
2.1.3	Hluk	10
2.1.4	Akustické vlnění	10
2.1.5	Vlnová délka	12
2.1.6	Akustická rychlost	12
2.1.7	Akustický tlak	12
2.1.8	Akustický výkon	13
2.1.9	Intenzita zvuku	14
2.1.10	Zvuková pohltivost	14
2.1.11	Činitel zvukové pohltivosti	14
2.1.12	Akustická pole	16
2.1.13	Doba dozvuku	17
2.1.14	Interference vlnění stejných frekvencí	17
2.1.15	Šíření zvuku přes stěnu	18
2.1.16	Neprůzvučnost	19
2.1.17	Stupeň vzduchové neprůzvučnosti	19
2.1.18	Vzduchová neprůzvučnost jednoduché stěny	22
2.2	Typy materiálů používané pro snižování hluku	25
2.2.1	Zvukově pohltivé materiály porézní	25
2.2.2	Zvukově pohltivé materiály rezonančního typu	26
2.2.3	Zvukově pohltivé materiály kombinované	27
2.3	Metody měření akustické pohltivosti materiálů	27
2.3.1	Metoda měření v impedanční trubici	27
2.3.2	Metoda měření v dozvukové místnosti	28
2.3.3	Metoda měření v Alfa-kabině	29
2.3.4	Měření v bezdozvukové komoře	30
3	Praktická část	31
3.1	Měřicí zařízení	31
3.2	Vlastní měření	32
3.2.1	Měření v Alfa-kabině	32
3.2.2	Měření doby dozvuku uvnitř automobilu	36
3.3	Výsledky měření	37
4	Závěr	39

1 Úvod

Vývoj společnosti vede ke stále větším nárokům na zvyšování výkonu strojů a technologických zařízení. Tyto požadavky ale bohužel vedou k přímo úměrnému nárůstu hlučnosti. Boj proti nepříznivým účinkům hluku na člověka se tak stává jedním z předních míst ochrany životního prostředí, stejně jako znečištění ovzduší a ochrana vodních zdrojů.

V osobních automobilech trávíme stále více času, a proto se neustále zvyšují nároky na akustickou pohodu v interiérech, což je místo, které nás zajímá v této bakalářské práci především. Hluku uvnitř automobilů se snažíme převážně zabránit kvalitní izolací z materiálů splňujících značné množství požadavků automobilového průmyslu (nízká cena, nehořlavost, možnost použití recyklovaných materiálů k výrobě, atd.).

Teoretická část práce se bude zaměřovat na typy materiálů, metody měření zvukové pohltivosti a celkově na vlastnosti šíření zvuku. V navazující praktické části budou experimentálně změřeny a poté porovnány různé typy materiálů a automobilové prvky v Alfa-kabině. Zároveň bude provedeno měření přímo v interiéru automobilu. Na základě výsledků těchto měření bude vyhodnocena vhodnost měření pro další výzkum v laboratořích KVM.

2 Teoretická část

2.1 Základní akustické vlastnosti materiálů

2.1.1 Akustika

Akustika je obor vědy a technologie, který se zabývá mechanickými kmity a vlnami a souvisejícími jevy.

2.1.2 Zvuk

Zvukem chápeme mechanické vlnění ve frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 kmitů za sekundu, které se šíří konečnou rychlostí prostředím. Je to přirozený jev v přírodě, zasahuje tedy i člověka. Člověk vnímá zvuk pomocí lidského ucha, které rozlišuje přibližně výše zmíněný rozsah kmitů. Frekvence nižší než 20 Hz se nazývá infrazvuk, naopak vyšší než 20 000 Hz označujeme jako ultrazvuk. Rychlost zvuku v atmosféře se pohybuje kolem asi 340 m/s. Rychlost ve vodě je mnohem vyšší, tj. cca 1440 m/s. Označení zvuk je vhodné jen pro podélné vlnění v kapalinách a plynech; v tuhých látkách se nazývá vlnění.

2.1.3 Hluk

Hluk nelze přesně fyzikálně definovat. Je to totiž subjektivní záležitost. Hlukem označujeme zvuk, který není žádoucí. Zvuk, který je pro někoho ladný, může být pro jiného označován za hluk (např. zvuk / hluk automobilu). Hluk může být lidskému organismu nepříjemný jak svou intenzitou, tak i svým charakterem. Pokud hluk bereme jako nežádoucí (nestandardní) zvuk, může být i užitečný, a to například k identifikaci závad.

2.1.4 Akustické vlnění

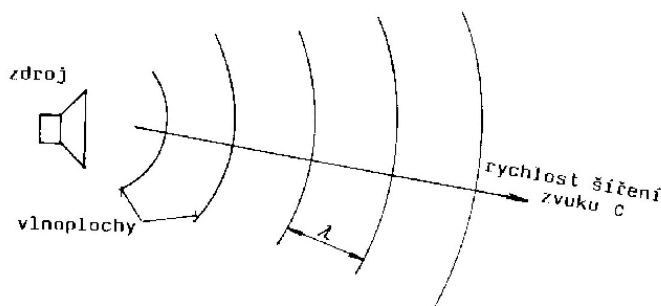
Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách i pevných látkách ve formě akustického vlnění. V homogenním izotropním prostředí se šíří vlnění přímočaře. Podle toho, zda částice prostředí kmitají ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu, dělíme vlnění na podélné a příčné. Zatímco u podélného vlnění je směr kmitů jednoznačně dán směrem šíření vlnění, u

příčného vlnění musíme udávat též rovinu, ve které dochází k příčným kmitům. Pokud se všechny kmity dějí v jedné rovině, říkáme o takovém vlnění, že je lineárně polarizováno.

Důležitou skutečností je, že se částice jednosměrně nepohybují se šířícím se vlněním, nýbrž kmitají pouze kolem svých rovnovážných poloh. Dalším závažným faktem je, že šíření akustického vlnění je spojeno s přenosem energie.

U plynů a kapalin se může vyskytovat pouze podélné akustické vlnění, neboť tyto látky jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. U materiálů elastických se může vyskytovat vlnění podélné i příčné, protože vykazují pružnost nejenom v tahu a tlaku, ale i smyku. Kombinací těchto namáhání vzniká kmitání ohybové.

Akustické vlnění postupuje prostředím od zdroje zvuku ve vlnoplochách, jak je ukázáno schématicky na Obr. 1. Vlnoplocha se vyznačuje tím, že v jejích všech bodech je v daném časovém okamžiku stejný akustický stav. Kolmice na vlnoplochu se nazývá akustickým paprskem.



Obr. 1 Šíření zvuku od zdroje ve formě vlnoploch

Mezi pevnými látkami a plyny resp. kapalinami může docházet k přenosu kmitů. Každý hmotný element prostředí může být tzv. oscilátorem. Vychýlením hmotného bodu z jeho rovnovážné polohy se poruší rovnováha sil a začnou převládat síly, které se snaží hmotný bod vrátit do rovnovážné polohy. Z uvedeného vyplývá, že můžeme nejjednodušší fyzikální oscilátory, jako je např. struna, ladička, pružina apod. považovat za akustické generátory.

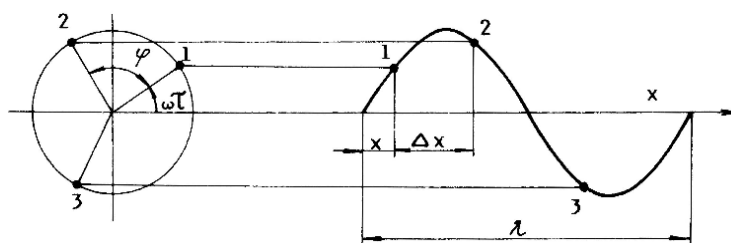
2.1.5 Vlnová délka

Vlnová délka je vzdálenost, kterou zvuková vlna urazí během jednoho kmitu T , nebo také vzdálenost mezi dvěma body, které mají v daném okamžiku stejný akustický tlak. Vlnovou délku lze vyjádřit rovnicí:

$$\lambda \cdot f = c \quad (1)$$

kde: f [Hz] je frekvence vlnění

c [m/s] je rychlost šíření zvuku



Obr. 2 Akustická výchylka jako funkce vzdálenosti

2.1.6 Akustická rychlost

Akustická rychlost je rychlost kmitajících jednotlivých částic v prostředí, kterým se šíří akustická vlna. Akustickou rychlost vypočteme pomocí parciální derivace akustické výchylky podle času:

$$v = \omega \cdot u_0 \cdot \cos \omega \left(\tau \mp \frac{x}{c} \right) = v_0 \cdot \cos \omega \left(\tau \mp \frac{x}{c} \right) \quad (2)$$

Akustická rychlost je jednou z nejdůležitějších akustických veličin a je jí nutno odlišovat od rychlosti šíření zvuku. Její velikost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku.

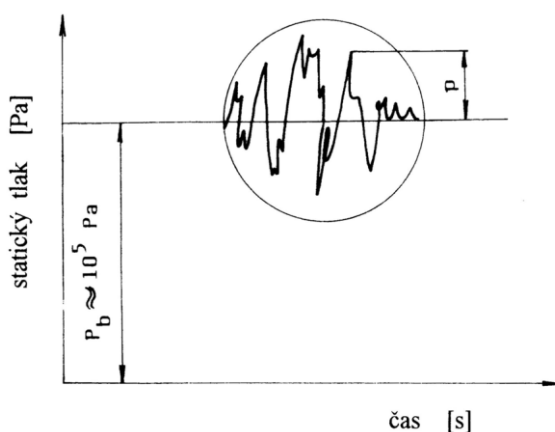
2.1.7 Akustický tlak

Při šíření zvuku v bodové řadě jsou zřejmá místa se zředěním nebo zhuštěním částic. Tomu odpovídají místa podtlaku a přetlaku. S tím souvisí změny celkového statického tlaku vzduchu p_s , který je dán součtem středního barometrického tlaku p_b a akustického tlaku. Akustický tlak p , který lidské ucho vnímá již od hodnoty $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, je přitom zanedbatelný ve srovnání s barometrickým tlakem ($p_b = 10^5$ Pa). Průběh akustického tlaku je

analogický s průběhem akustické výchylky nebo akustické rychlosti. Pro harmonický signál lze akustický tlak vyjádřit rovnicí:

$$p = p_0 \cdot \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{c} \right) \quad (3)$$

Z rovnice je zřejmé, že akustický tlak závisí na kruhové frekvenci ω , resp. kmitočtu f . Reálné zvuky v našem životním prostředí nicméně nejsou akustické signály o jednom kmitočtu, ale skládají se z řady dílčích signálů. Z tohoto důvodu je třeba u akustických veličin (jako je např. akustický tlak, akustická rychlost nebo akustický výkon) pracovat s jejich frekvenčními spektry, která mohou být čárová (tzv. diskrétní) nebo spojitá.



Obr. 3 Časový průběh celkového statického tlaku

2.1.8 Akustický výkon

Předpokládejme ve směru osy x šíření rovinné vlny, která dopadá na měřicí plochu. Zvukové paprsky přitom s měřicí plochou svírají úhel ν . Akustický výkon je definován rovnicí:

$$P = \frac{dE}{d\tau} \quad (4)$$

Je-li akustický výkon vztažen na jednotku plochy, zavádí se tzv. měrný akustický výkon N [W/m^2]:

$$N = \frac{dP}{dS \cdot \cos \nu} \quad (5)$$

2.1.9 Intenzita zvuku

Intenzita zvuku závisí na měrném akustickém výkonu N a je dána rovnicí:

$$I = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T N d\tau \quad (6)$$

kde T je doba integrace, která je u harmonických signálů rovna době jedné periody

2.1.10 Zvuková pohltivost

Zvuková pohltivost určuje schopnost materiálu pohlcovat akustickou energii a měnit ji na energii jinou, především teplo. Teplo vzniká třením, přestupem a vnitřními ztrátami. Vyjadřuje se pomocí činitele zvukové pohltivosti, který je bezrozměrný. Tento činitel je zároveň frekvenčně závislý.

2.1.11 Činitel zvukové pohltivosti

Činitel zvukové pohltivosti nám charakterizuje schopnost nějaké plochy pohlcovat zvuk. Je to bezrozměrná veličina, která je definována vztahem:

$$\alpha = \frac{W_{pohl}}{W_{dop}} \quad (7)$$

tzn. jako poměr zvukové energie pohlcované zvolenou plochou W_{pohl} k energii na tuto plochu dopadající W_{dop} .

Pokud plocha dokonale pohlcuje veškerý dopadající zvuk, tak se tento činitel rovná 1, pokud však plocha dokonale odráží dopadající zvuk tak se rovná 0. Dále můžeme tento činitel vyjádřit jako:

$$\alpha = \frac{W_{dop} - W_{odr}}{W_{dop}} = 1 - \frac{W_{odr}}{W_{dop}} \quad (8)$$

kde: W_{odr} je velikost zvukové energie odražené zvolenou plochou

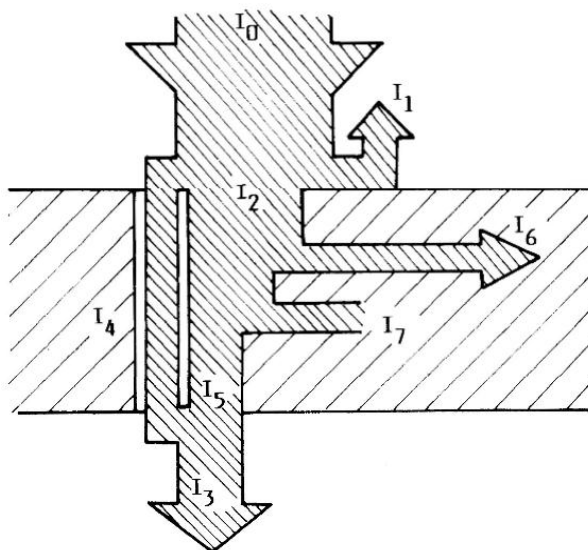
Konstrukce	Frekvence [Hz]					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Tloušťka [mm] / odsazení [mm]						
Beton hutný	0,010	0,016	0,019	0,023	0,035	0,05
Beton vylehčený	0,20	0,22	0,23	0,25	0,21	0,26
Zdivo cihelné režné	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,07
Dřevotřísková deska (20/50 až 150)	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	0,04
Dřevovláknitá měkká deska (15/0)	0,10	0,15	0,55	0,52	0,50	0,45
Omítka vápenná na cihelném zdivu	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Omítka vápenocementová	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Koberec bouclé (5/0)	0,08	0,10	0,10	0,21	0,43	0,78
Koberec plyšový (10/0)	0,13	0,11	0,15	0,30	0,63	0,90
Linoleum	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,04
Vlasy dřevěné	0,03	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Okenní otvor zasklený	0,30	0,20	0,15	0,10	0,06	0,04
Čalouněné křeslo (zvuková pohltivost v m na 1 kus)	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30
Čalouněné křeslo obsazené (zvuková pohltivost v m ² na 1 kus)	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
Vodní hladina	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

Tab. 1. Hodnoty činitele zvukové pohltivosti vybraných materiálů a konstrukcí

Činitel zvukové pohltivosti je dále závislý na kmitočtu a směru dopadu zvukové vlny. Pro kolmý dopad jej označujeme jako činitel pohltivosti α_N a pro všesměrový dopad zvuku jako činitel pohltivosti α_S (tzv. Sabinův). Co se děje s akustickou energií při dopadu na překážku ukazuje Obr. 4. Akustický výkon dopadající na 1 m² stěny, značený jako intenzita zvuku I_0 , se rozdělí na části:

- I_1 – intenzita zvuku vlny odražené
- I_2 – intenzita zvuku vlny pohlcené
- I_3 – intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem
- I_4 – intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry
- I_5 – intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého poloprostoru

- f) I_6 – intenzita zvuku vlny, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí
- g) I_7 – intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo



Obr. 4 Schéma rozdělení akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu

Činitel zvukové pohltivosti v sobě skrývá část energie, která prošla otvory I_4 a část I_5 , která byla do druhého poloprostoru vyzářena ohybově kmitající stěnou. Toto rozdělení dopadající akustické energie na jednotlivé složky vyhovuje v oblasti prostorové akustiky. Při navrhování zvukoizolačních konstrukcí je však třeba znát podíl akustické energie přeměněné ve stěně na teplo. Proto je zavedena veličina, činitel přeměny ε [-], který vyjadřuje podíl mezi energií přeměněnou ve stěně na teplo a energií na stěnu dopadající.

2.1.12 Akustická pole

Zdroj zvuku vytváří ve svém okolí akustické pole, které závisí na mnoha činitelích (např. na umístění zdroje, na tvaru vyzařovaných ploch zdroje, na počtu zdrojů a jejich rozmístění atd.). Tvar zvukového pole a tím i jeho vlnoploch ovlivňuje jakákoliv překážka, která je vložena do cesty šířícím se akustickým vlnám. Zvukové vlny se od překážek odrážejí, pokud délka vlny dopadajícího zvuku je kratší, než jsou rozměry překážek.

Podle charakteru šířících vln můžeme akustická pole rozdělit na:

- *pole přímých vln*, kde se akustická energie šíří do prostoru postupnými přímými vlnami

- *pole odražených vln*, kde se část akustické energie odráží zpět od odrazujících ploch prostoru

Dále můžeme akustická pole rozdělit na dva základní typy:

- *volné zvukové pole*, ve kterém se zvuk šíří v přímých vlnách, nedochází v něm k jeho odrazům, absorpci nebo jakékoli deformaci.

- *difúzní pole* je charakteristické tím, že v každém bodě uzavřeného prostoru je tok energie ve všech směrech se stejnou intenzitou, ale s náhodnou fází. Tím, že se vlny mnohonásobně odrážejí od stěn uzavřeného prostoru a žádná ze stěn není absolutně pohltivá, rozloží se akustický tlak rovnoměrně a akustická intenzita je v každém místě stejná.

2.1.13 Doba dozvuku

Důležitou veličinou při řešení akustiky prostorů je průběh doznívání, tzv. doba dozvuku. Doba dozvuku je přitom doba, za kterou hustota akustické energie po vypnutí zdroje zvuku klesne na 10^{-6} původní hodnoty.

Teoretický vztah pro dobu dozvuku je:

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha_m \cdot S} \quad (9)$$

2.1.14 Interference vlnění stejných frekvencí

Budou-li se bodovou řadou šířit dvě nebo více vlnění, lze je skládat na výsledné vlnění podle principu superpozice. Jde-li o vlnění v různých směrech, skládáme je vektorově. Pokud se jedná o vlnění navzájem polarizovaná, jež mají stejnou polarizační rovinu, přechází vektorový součet v algebraický součet okamžitých výchylek.

Důležitým případem je interference vlnění o stejných frekvencích, tedy případ, kdy jsou stejné i vlnové délky. Jednotlivá vlnění mohou být mezi sebou fázově posunuta.

2.1.15 Šíření zvuku přes stěnu

Metodou izolace využívající při snižování hluku vlastnosti stěn, příček, stropů, podlah a zákrytů, obecně říkáme neprůzvučnost.

Uvažujme nyní zvukovou vlnu, která dopadá kolmo na ohybově měkkou stěnu, která rozděluje plynné prostředí na dva zcela oddělené prostory. Část akustické energie bude odražena nazpět ke zdroji, druhá část bude pronikat za stěnu. Musí opět platit rovnice kontinuity pro akustickou rychlost. Akustický tlak dopadající vlny vyjádříme zápisem:

$$p_+ = p_D \cdot e^{j\omega(\tau - x/c)} \quad (10)$$

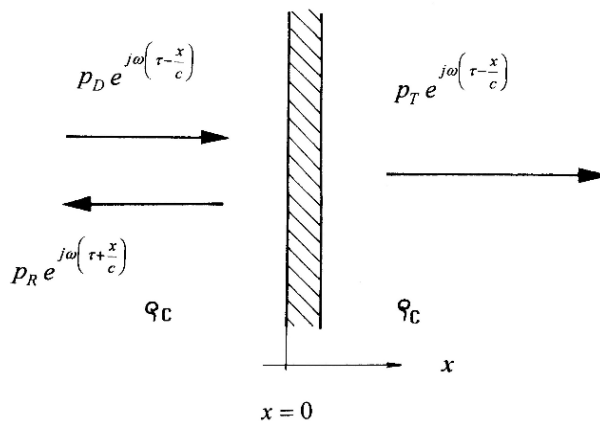
a podobně i pro vlnu odraženou bude platit:

$$p_- = p_R \cdot e^{j\omega(\tau + x/c)} \quad (11)$$

Význam jednotlivých veličin je vysvětlen na schématickém Obr. 5. Akustický tlak p_1 působící na stěnu zleva bude dán součtem předcházejících složek, když dosadíme za vzdálenost $x = 0$

$$p_1 = (p_D + p_R) \cdot e^{j\omega\tau} \quad (12)$$

Akustický tlak na druhé straně stěny bude vyjádřen obdobným vztahem, když zanedbáme složku d .



Obr. 5 Přenos akustického signálu stěnou

Při platnosti rovnice kontinuity musí být rychlost kmitání stěny v rovna akustickým rychlostem zleva i zprava, což lze vyjádřit rovnicí:

$$v_2 = v_1 = v_+ - v_- \quad (13)$$

Amplitudu akustického tlaku vlny prošlé za stěnu je možno získat řešením:

$$p_T = \frac{2\rho c}{2\rho c + j\omega m''} \cdot p_D \quad (14)$$

kde m'' [kg/m²] plošná hmotnost stěny

Intenzitu zvuku I_2 , který pronikl za stěnu je:

$$I_2 = \frac{4\rho^2 c^2}{4\rho^2 c^2 + \omega^2 m''^2} I_+ \quad (15)$$

kde I_+ [W/m²] značí intenzitu dopadajícího zvuku

2.1.16 Neprůzvučnost

V technické praxi existují dva druhy neprůzvučnosti, a sice vzduchová a kročejová neprůzvučnost.

a) *vzduchová neprůzvučnost* je vlastnost konstrukce, projevující se ztrátou akustického výkonu při přenosu vzduchem prostřednictvím konstrukce. Hodnoty činitele s rostoucím kmitočtem klesají.

b) *kročejová neprůzvučnost* je zavedena jako pojem ve stavební akustice. V podstatě se jedná o vyzáření akustické energie ze stěny, která byla uvedena do ohybového vlnění vlivem impulzů - kroků.

Ve strojírenství nás zajímá neprůzvučnost stěn dopravních prostředků nebo průmyslových budov jako dělících příček mezi hlučnými stroje a chráněným okolím.

2.1.17 Stupeň vzduchové neprůzvučnosti

Akustickou kvalitu stěny vyjádříme stupněm vzduchové neprůzvučnosti R [dB], který je definován vztahem:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (16)$$

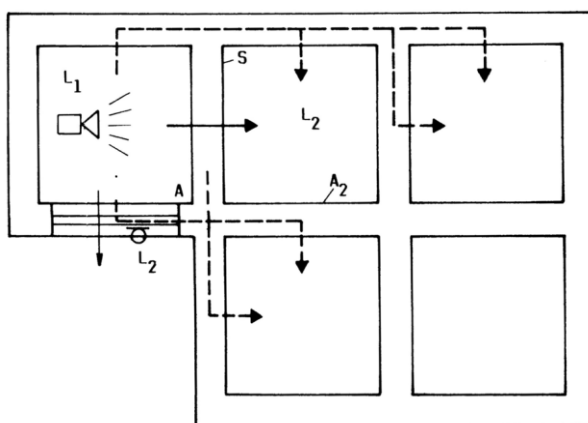
Stupeň vzduchové neprůzvučnosti je veličina kmitočtově závislá a proto musíme uvádět její spektrum. Snížení hladin hluku v důsledku neprůzvučnosti stěn bývá v praxi 10 až 50 dB, což jsou velmi vysoké hodnoty. Proto se při konstrukci i projekci hlučných zařízení snažíme mezi zdroj a posluchače vkládat dělící stěny.

V praxi může nastat několik základních případů aplikace dělících stěn. Nejčastějším případem bývá dispozice popsaná na Obr. 6. Jsou-li známy hladiny akustického tlaku ve dvou sousedních místnostech, přičemž L_1 je hodnota naměřená v dozvukovém poli hlučné místnosti, kde se nalézá zdroj hluku a L_2 je hladina akustického tlaku v přijímací místnosti ve vzdálenosti rovné $\frac{1}{2}$ šířky stěny, bude jejich rozdíl dán rovnicí:

$$L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2}{S} \quad (17)$$

kde S [m²] je plocha dělící stěny

A_2 [m²] je celková pohltivost přijímacího prostoru

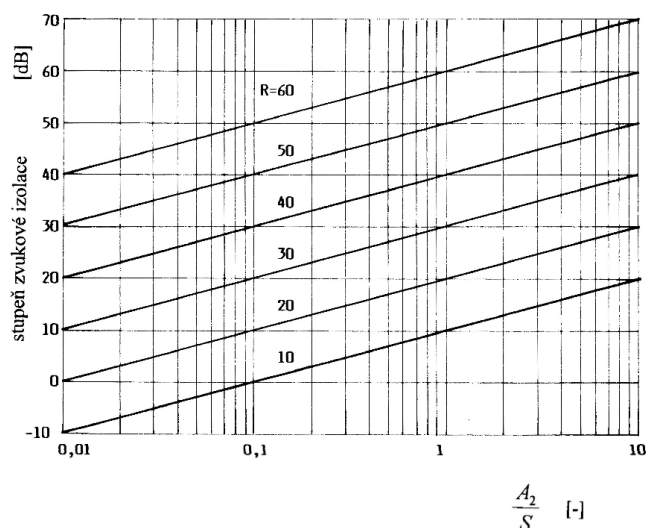


Obr. 6 Dvě místnosti oddělené stěnou

Levá strana rovnice (17) je nazývána stupněm zvukové izolace D [dB]:

$$D = L_1 - L_2 \quad (18)$$

Tato veličina udává výsledný zvukoizolační efekt. Jestliže je stupeň vzduchové neprůzvučnosti vlastností stěny, tak stupeň zvukové izolace závisí nejen na R , ale především na velikosti stěny a celkové pohltivosti přijímacího prostoru. Projeví se to tím, že poměr A_2/S je hodnota velmi malá (menší než 1) a v rovnici (17) je druhý člen záporný, snižující stupeň zvukové izolace. Přehled o této závislosti získáme z diagramu na Obr. 7.



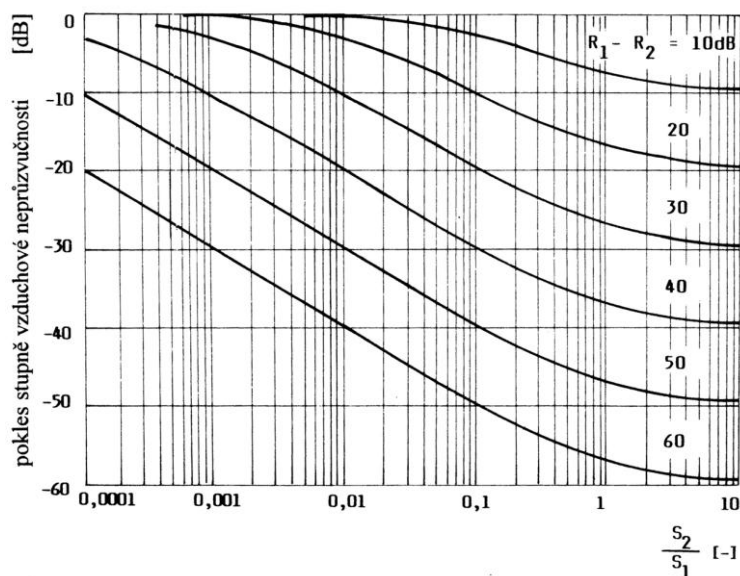
Obr. 7 Stupeň zvukové izolace jako funkce stupně vzduchové neprůzvučnosti, pohltivosti prostoru a velikosti dělící stěny

Velice často se setkáváme s případem, že dělící stěna nemá po ploše stejnou tloušťku nebo není ze stejného materiálu. Při určování výsledného stupně vzduchové neprůzvučnosti musíme vyjít z energetické bilance. Jestliže je stěna složena z dílčích ploch S_1 až S_n , jejichž stupeň vzduchové neprůzvučnosti je R_1 až R_n , získáme výslednou celkovou průzvučnost prostým sčítáním průzvučností.

Dosazením do definičního vztahu (16) a po provedení nezbytných úprav získáme konečný vztah pro stupeň vzduchové neprůzvučnosti kombinované stěny:

$$R = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n (10^{-0.1 R_i} S_i)} \quad (19)$$

Bude-li stěna složena ze dvou dílčích ploch S_1 a S_2 pro jejichž stupně vzduchové neprůzvučnosti platí $R_1 \geq R_2$ můžeme stanovit výsledný stupeň vzduchové neprůzvučnosti pomocí diagramu na Obr. 8 a vzorce:



Obr. 8 Pokles stupně vzduchové neprůzvučnosti

$$R = R_1 + \Delta R \quad (20)$$

kde ΔR [dB] je pokles stupně vzduchové neprůzvučnosti vlivem stěny s menším stupněm vzduchové neprůzvučnosti

Při potřebě navrhnout zvukoizolační stěnu, je obvykle zadáný stupeň zvukové izolace. Nutno však zdůraznit, že se do chráněného prostoru nedostává akustický signál pouze vlivem průzvučnosti dělicí stěny. Existuje celá řada vedlejších cest šíření zvuku, což může způsobit velké problémy. Proto je zvykem zadáný stupeň zvukové izolace zvětšit o rezervní hodnotu cca 3,0 dB. Požadovaný stupeň vzduchové neprůzvučnosti potom určíme z rovnice:

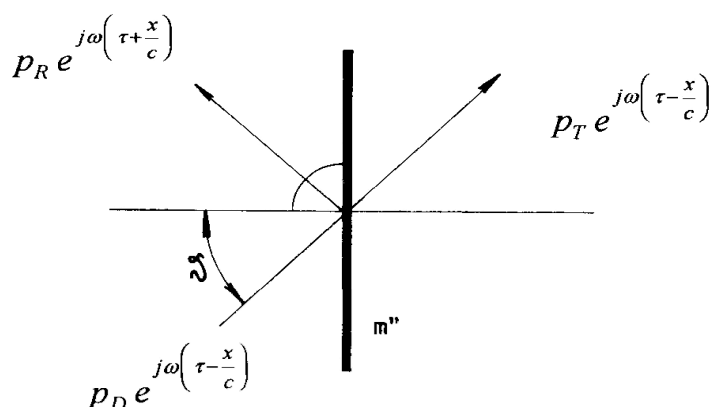
$$R = (L_{p1} + L_{p2}) + 10 \log \frac{S}{A_2} + 3 \quad (21)$$

2.1.17 Vzduchová neprůzvučnost jednoduché stěny

Při sledování akustických dějů v deskách rozdělujeme jednotlivé případy podle velikosti ohybové tuhosti stěn. U tenkých stěn a v oblasti nízkých frekvencí můžeme obvykle zanedbat ohybovou tuhost. Nechme za tohoto předpokladu dopadat na rovinnou homogenní neprodyšnou stěnu akustické vlnění pod obecným úhlem ϑ , jak je znázorněno na Obr. 9. Akustický tlak na levé straně stěny bude dán součtem akustického tlaku dopadající a odražené vlny.

Předpokládejme dále, že se jedná o akusticky tvrdou stěnu, takže akustický tlak na stěně můžeme vyjádřit jako dvojnásobek akustického tlaku vlny dopadající:

$$p_1 = 2p_d e^{(j\omega\tau)} \quad (22)$$



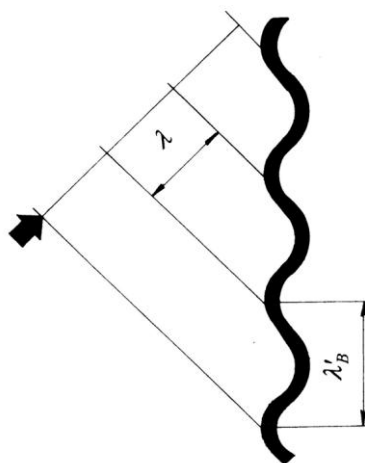
Obr. 9 Schéma šikmo dopadajícího vlnění na stěnu.

Akustický tlak těsně za stěnou bude dán vztahem:

$$p_2 = p_T e^{(j\omega\tau)} \quad (23)$$

Dopadající vlnění na stěnu má v čase proměnlivý akustický tlak, což vyvolává ve stěně nucené ohybové kmitání. Mezi délkou zvukových vln ve vzduchu λ a délkou vynucených ohybových vln ve stěně λ'_B proto musí platit jednoduchá závislost:

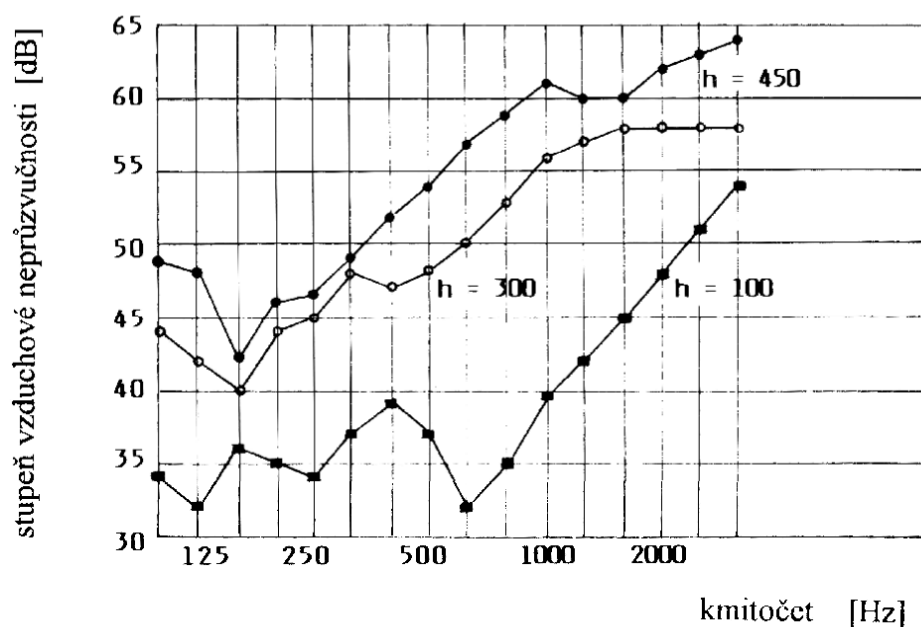
$$\lambda'_B = \frac{\lambda}{\sin \lambda} \quad (24)$$



Obr. 10 Vynucené ohybové kmitání stěny.

Směrová závislost stupně vzduchové neprůzvučnosti se skutečně projevuje při dopadu akustických vln např. na fasádu budov, kdy spodní podlaží vykazují vyšší stupeň zvukové izolace než horní poschodí, když je zdroj hluku na zemi. Pro kolmý dopad při zdvojnásobení plošné hmotnosti nebo frekvence získáme stupeň vzduchové neprůzvučnosti o 6 dB vyšší. Z hlediska vzduchové neprůzvučnosti jsou tedy stěny z cihel, betonu nebo kamene vhodnější než stěny z lehkých porézních hmot, protože jsou hmotnější.

Činitel vnitřního tlumení může příznivě ovlivnit stupeň vzduchové neprůzvučnosti v oblasti koincidenčních kmitočtů. Při provádění stěn z ocelových plechů je proto vhodné aplikovat buď antivibrační nátěry, nebo vrstvené konstrukce.



Obr. 11 Praktický průběh stupně vzduchové neprůzvučnosti cihelné stěny různé tloušťky

2.2 Typy materiálů používané pro snižování hluku

V této části se budeme zabývat základními typy látek pro pohlcování zvuku. Jejich základní akustická vlastnost, tj. přeměna akustické energie na teplo, bude dána kmitočtovou závislostí činitele zvukové pohltivosti. Pokud nebude uvedeno jinak, budeme vždy uvažovat, že se jedná o všesměrový dopad zvukových vln.

Z hlediska uspořádání a typické závislosti činitele pohltivosti na kmitočtu můžeme pohltivé látky rozdělit na látky porézní a látky spočívající na rezonančním principu.

2.2.1 Zvukově pohltivé materiály porézní

Porézní materiály se vyznačují vysokou pórovitostí (až 99 objemových procent), jejich kostru obvykle tvoří vlákna nebo ztuhlá pěna. Póry jsou navzájem propojeny a otevřeny do volného povrchu. Klasickými pórovitými materiály jsou např. polyuretanové pěny (molitan), které se hodí především v prostorech, kde není nebezpečí požáru. Vláknité materiály jsou tvořeny z mikrovláken ze skla, minerálních plstí apod. a používají se tam, kde se musí odolávat vysokým teplotám.

V porézních látkách dochází k nevratné přeměně zvukové energie v tepelnou energii třemi základními způsoby:

- třením
- relaxací akustického tlaku
- nepružnou deformací.

K přeměně akustické energie vlivem tření dochází při pohybu částic vzduchu póry pohltivého materiálu. Množství pohlcené energie závisí na rozměrech a uspořádání pórů a na tloušťce materiálu. Jelikož styčné plochy mezi částicemi vzduchu a materiálem jsou u vláknitých a pórovitých materiálů poměrně velké, dochází tak ke značné přeměně kinetické energie zvukových vln.

Možnost využití vrstvy porézního materiálu jako porézního pohlcovače záleží na tloušťce vrstvy a na tloušťce vzduchového polštáře vzhledem k

povrchu nosné konstrukce. Je-li zapotřebí posunout první maximum činitele pohltivosti do nižších kmitočtů, je nutné zvětšit jeho šířku.

Základní fyzikální vlastnosti pórovitých materiálů jsou:

- poréznost
- měrná akustická impedance
- odpor proti proudění vzduchu
- činitel struktury
- činitel udávající typ termodynamických pochodů v pórech materiálu.

2.2.2 Zvukově pohltivé materiály rezonančního typu

Porézní vrstva odsazená od povrchu tuhé nosné konstrukce se svým uspořádáním blíží uspořádání rezonančního pohlcovače, mechanika pohlcování je však odlišná. Zatímco u hmoty porézního pohlcovače se nepředpokládá kmitavý pohyb, hmota rezonančního pohlcovače po dopadu zvukové vlny podle předpokladu kmitá nucenými kmitů na uzavřeném vzduchovém polštáři.

Základní druhy rezonančních pohlcovačů jsou:

- Kmitající membrány a desky - jsou to tenké fólie a desky, jejichž tuhost v ohybu je velmi malá ve srovnání s ohybovou tuhostí vzduchového polštáře mezi membránou a pevnou stěnou. Tak se neprojeví vliv upevnění na okrajích a membrána kmitá jako celek. Prostor mezi membránou a stěnou se vyplňuje porézním materiálem, který tlumí kmitání částic vzduchu a tím i kmitů celé soustavy. Maxima pohltivosti se dosáhne při rezonanci, při níž je největší akustická rychlost. K výrobě membrán se používá např. koženka, polyethylenová fólie apod. Do vzduchového polštáře se vkládá tlumící vložka z porézního materiálu. Účinek tlumící vložky ve vzduchovém polštáři je vzhledem ke vzduchovému polštáři nižší.

- Dutinové rezonátory - pod tímto názvem jsou známy pohlcovače Helmholtzova typu, tvořené dutinou o objemu V , jejíž hrdlo, většinou tvaru válce nebo hranolu o průřezu S a výšce h , propojuje dutinu s uvažovaným prostorem. Vhodnou volbou činitele děrování, hloubkou otvorů, jejich

poloměru a vzdálenosti desky rezonátoru od pevné stěny můžeme rezonátor naladit na potřebnou frekvenci.

2.2.3 Zvukově pohltivé materiály kombinované

Pro obkládání konstrukcí z hlediska snižování hluku má význam navrhnout obklady, jejichž pohltivost nabývá maximálních hodnot v kmitočtovém rozsahu, který se shoduje s kmitočtovým rozsahem akustického výkonu zdroje hluku v daném prostoru. Širokopásmového účinku pohlcování lze dosáhnout např. velmi tenkými děrovanými deskami o vysokém činiteli děrování a vysokém vzduchovém polštáři.

2.3 Metody měření akustické pohltivosti materiálů

Obecnému trendu snižování hlučnosti musely být přizpůsobeny také metody a zařízení, které by byly schopny kvalitu materiálů posuzovat s ohledem na jejich akustické vlastnosti. K podobnému měření jsou nejčastěji využívány následující metody.

2.3.1 Metoda měření v impedanční (Kundtově) trubici

Tato metoda slouží převážně pro vývoj a porovnávání vzorků akustických materiálů. Skládá se z kovové trubice se dvěma otvory určenými pro umístění mikrofónů a jednoho otvoru určeného pro vkládání zkoumaného vzorku. Jako zdroj signálu slouží instalovaný reproduktor. Touto metodou lze měřit zvláště jednotlivé frekvence, anebo frekvence širokopásmové. Výstupem mohou být hodnoty akustické pohltivosti materiálu, impedance nebo odrazivost vzorku. Mezi výhody měření v impedanční trubici lze zařadit nízké prostorové nároky, malý vzorek a cenu měření. Omezením je kolmý dopad zvukových vln.



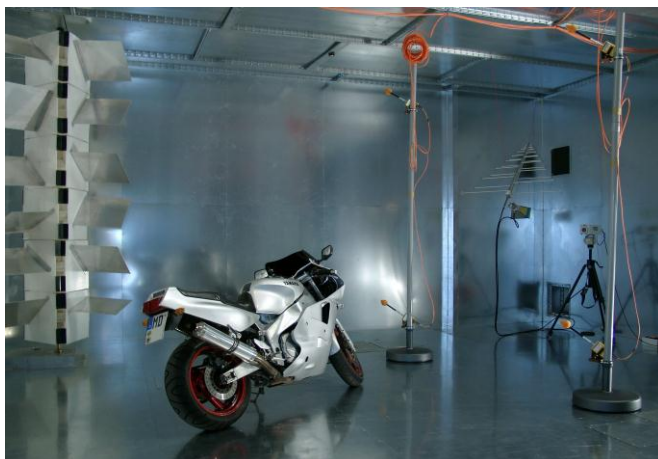
Obr. 12 Impedanční trubice

2.3.2 Metoda měření v dozvukové místnosti

Dozvuková (difúzní) komora je navržena s ohledem na co možná největší přiblížení se k difúznímu akustickému poli. Typická dozvuková komora má objem okolo 200 m³ nebo více, některé stěny jsou stavěny bez rovnoběžných stěn pro omezení vzniku stojatého vlnění. Stěny a všechny povrchy v místnosti jsou postaveny z vysoce akusticky odrazivých materiálů, takže doba dozvuku je dlouhá a oblast přímých vln v okolí zdroje co nejmenší. Touto metodou lze stanovit střední akustickou pohltivost materiálů, jimiž je dozvuková místnost obložena. Dopad zvukových vln v dozvukové místnosti je všesměrový. Postup měření určuje norma ISO 354 (ČSN 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti).

Mezi nevýhody patří nároky na montáž a upevnění vzorků na stěny a strop a také potřeba velkého množství zkoumaných vzorků.

Na druhé straně jsou zvuková pole v prostoru vozu a v prostoru motoru mnohem spíše srovnatelná se stávajícími poměry v dozvukové komoře. Proto absorpční koeficienty dosažené metodou v dozvukové komoře odpovídají mnohem více skutečnosti, než výsledky dosažené v Kundtově trubici.



Obr. 13 Ukázka dozvukové kabiny

2.3.3 Metoda měření v Alfa-kabině

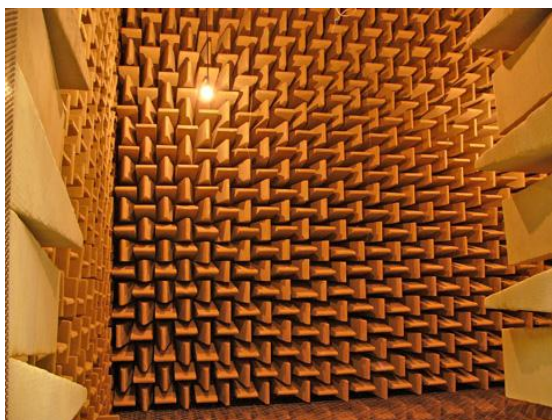
Na měření v dozvukové komoře přímo navazuje měření v Alfa-kabině, které z ní a požadavků normy ISO 354 (ČSN 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti) vychází, avšak odstraňuje nevýhodu potřeby vzorku o velkých rozměrech. Alfa-kabina je zařízení, které je přizpůsobeno pro měření materiálů v automobilové akustice. Kabina má krabicovitý tvar, vnitřní část stropu kabiny je zešíkmena ke spodní části tak, aby simulovala stropní část osobního automobilu. Zvuk uvnitř kabiny vytváří tři reproduktory umístěné v rozích kabiny. Výstupem měření je koeficient zvukové pohltivosti α . Pokud nelze stanovit plochu, na které dochází k pohlcování, je výstupem doba dozvuku T . V Alfa-kabině je třeba vzorek olemovat, jelikož pohltivá plocha se vzhledem k redukci kabiny jeví vzhledem k jejímu povrchu třikrát větší.



Obr. 14 Alfa kabina v laboratořích TU Liberec

2.3.4 Měření v bezdozvukové komoře

V bezdozvukové (anechoické) komoře s vysoce absorpčními prvky dochází k šíření akustického vlnění jako ve volném zvukovém poli. Výsledné akustické pole má tedy pouze přímé složky akustických veličin bez jakýchkoliv odrazů. Povrchy anechoické komory jsou opatřeny vysoce pohltivými materiály, jako jsou minerální vlna nebo skelná vata. Vysoké pohltivé plochy se dosahuje jednak použitím vhodných materiálů, ale i „zvětšením“ celkové pohlcující plochy komory za použití těchto materiálů ve tvaru dlouhých jehlanů. Bezdozvuková komora se používá pro přesná akustická měření zdrojů zvuku bez jakýchkoliv rušivých prvků.



Obr. 15 Ukázka bezdozvukové kabiny

3 Praktická část

Praktická část se zabývá měřením zvukové pohltivosti v Alfa-kabině nejen plošných obkladů a interiérových prvků interiéru automobilů, ale také měřením doby dozvuku v závislosti na konfiguraci interiéru automobilu.

3.1 Měřicí zařízení

Rieter Alfa-kabina, která se nachází v laboratořích KVM, je v měřítku 1 : 3,2 dodržená simulace halového prostoru švýcarské zkušebny materiálu a testovací laboratoře (EMPA) v Duebendorfu a slouží k měření absorpčního koeficientu akustických materiálů. Poměry v difúzním poli Alfa-kabiny jsou prakticky stejné jako ve velkém halovém prostoru, ale pro třikrát kratší vlnové délky, resp. třikrát vyšší frekvence. Frekvenční rozmezí použití Alfa-kabiny se pohybuje mezi 400 Hz a 10 kHz.



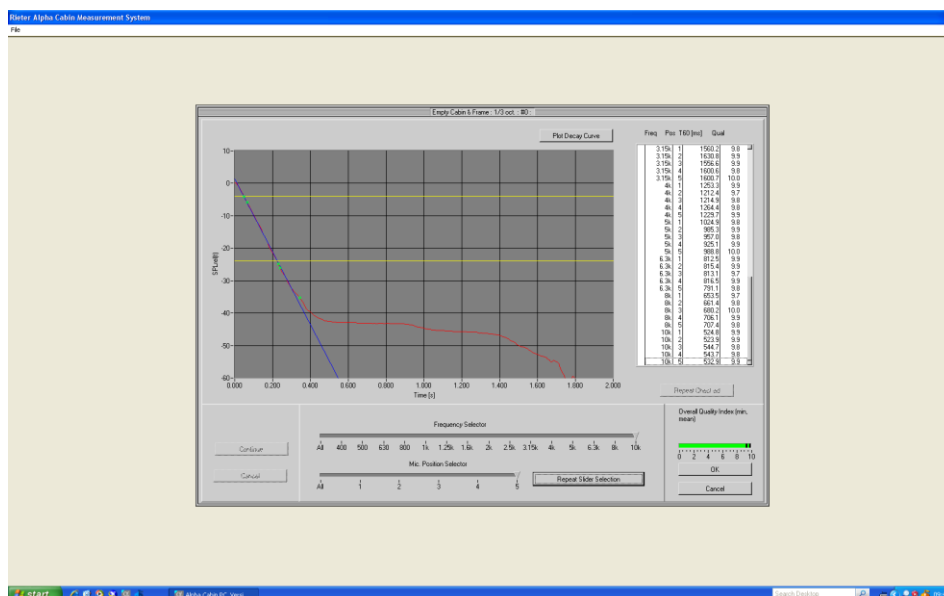
Obr. 16 Interiér Alfa-kabiny KVM se vzorkem

Povrch standardního vzorku redukovaný na kvadrát lineárního měřítka obnáší 1,2 m². To odpovídá přibližně rozměrům střešního stropu nebo absorbovanému tvaru dílu na kryt motoru.

Jediný rozdíl mezi měřeními v Alfa-kabině a v normě odpovídající halovém prostoru se týká povrchových jevů vzorku. V Alfa-kabině je měřená tloušťka vzorku jediná geometrická veličina, která není v poměru 1 : 3 redukována. Okrajům vzorku odpovídající absorbující plocha je v poměru k jejímu povrchu třikrát tak velká. Pro zdůvodnění této difference okrajových efektů a pro zabránění, aby v Alfa-kabině naměřené absorpční koeficienty silně překračovaly 1.0, byl zaveden korekční faktor následovně:

$$\alpha_s = 0.92 \frac{0.163 V}{S} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (25)$$

Pro měření byl použit kondenzátorový mikrofon Bruel + Kjaer Typ 4190 (který se používá i při měření v automobilu) a jeho předzesilovač B + K Typ 2669. Mikrofon, umístěný 92 cm nad podlahou, se otáčí paralelně s podlahou pomocí malého elektromotoru, který staví mikrofon do pěti rovnoměrně rozestavěných poloh. V kabině je rovněž zařízení na měření vlhkosti a teploty. Měření při nižší než 50% relativní vlhkosti nemají být prováděna. Teplota ovlivňuje měření významně méně než vlhkost. Přesto má být dbáno na to, aby teplota v kabině byla mezi 18 a 25 stupni Celsia. Celá kabina je ovládána z PC pomocí softwaru dodaným výrobcem kabiny.



Obr. 17 Software k ovládání Alfa-kabiny

3.2 Vlastní měření

3.2.1 Měření v Alfa-kabině

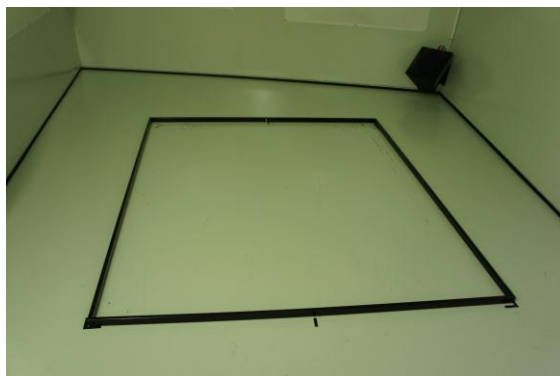
Při měření v Alfa-kabině byly měřeny 3 skupiny materiálů. První skupina byly vzorky plošných obkladů, druhá skupina se zabývala hlavovými opěrkami u sedadel automobilů a ve třetí skupině se měřily další interiérové prvky automobilů. Před každým měřením nejprve byla změřena doba dozvuku prázdné kabiny, ze které software automaticky počítá absorpční koeficient. Měření bohužel neprobíhalo za ideálních podmínek, což je vidět v Tab. 2, která nám zobrazuje výstup z PC softwaru po jednotlivých měřeních.

vzorky tl. 14 a 20 mm

Measurements (Third Octave Data)		
Material	Vzorek 20 mm	Vzorek 14 mm
Material Remarks		
Area	1,2	1,2
Date	16.3.2012	16.3.2012
Time	9:49:57	9:56:37
Temperature (teplota)	17,5	17,6
Humidity (vlhkost)	35,8	35,5
Hz	pohltivost	
400	0,368	0,192
500	0,589	0,294
630	0,653	0,382
800	0,955	0,603
1000	1,194	0,909
1250	1,246	1,03
1600	1,268	1,102
2000	1,286	1,2
2500	1,318	1,22
3150	1,266	1,182
4000	1,211	1,214
5000	1,158	1,182
6300	1,255	1,236
8000	1,275	1,199
10000	1,177	1,164

Tab. 2 Výpis změřených výsledků programem do tabulky ve formátu .xls

Plošné obklady byly vkládány do standardního rámu kabiny, díky kterému by se mělo při měření zabránit okrajovým efektům.



Obr. 18 Rám pro plošné vzorky v Alfa-kabině

Hlavové opěrky při druhém typu měření byly usazeny do držáků, aby se co nejvíce přiblížila skutečná poloha opěrek v automobilech.



Obr. 19 Uchycení hlavových opěrek v Alfa-kabině

Při posledním měření v Alfa-kabině, tj. měření koberečků a zadního pláta, se vzorky umísťovaly přímo na dno kabiny.

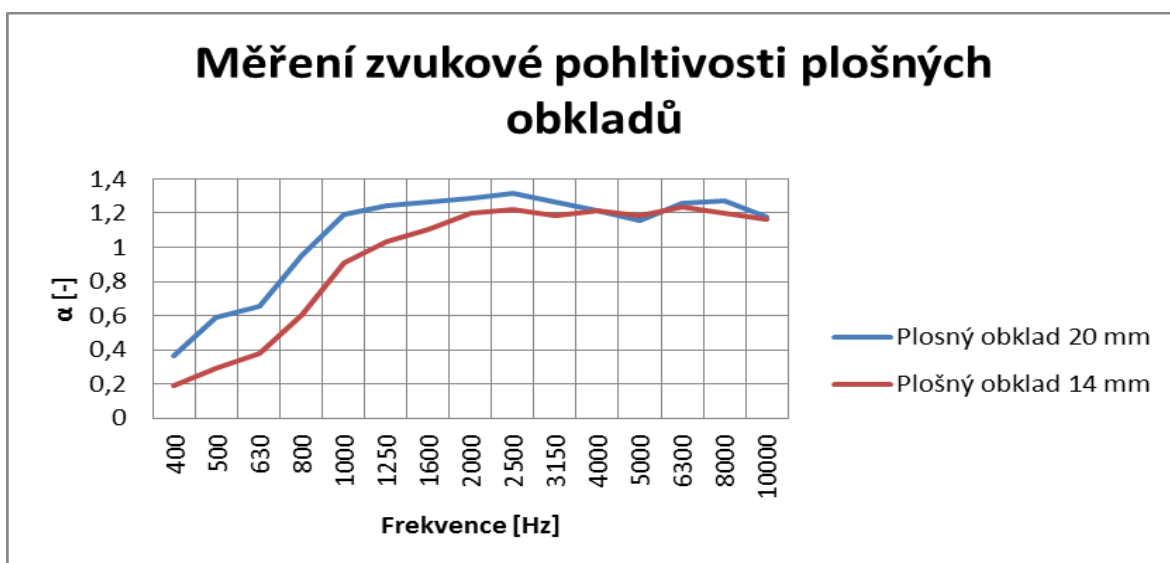


Obr. 20 Umístění pláta kufru v Alfa-kabině

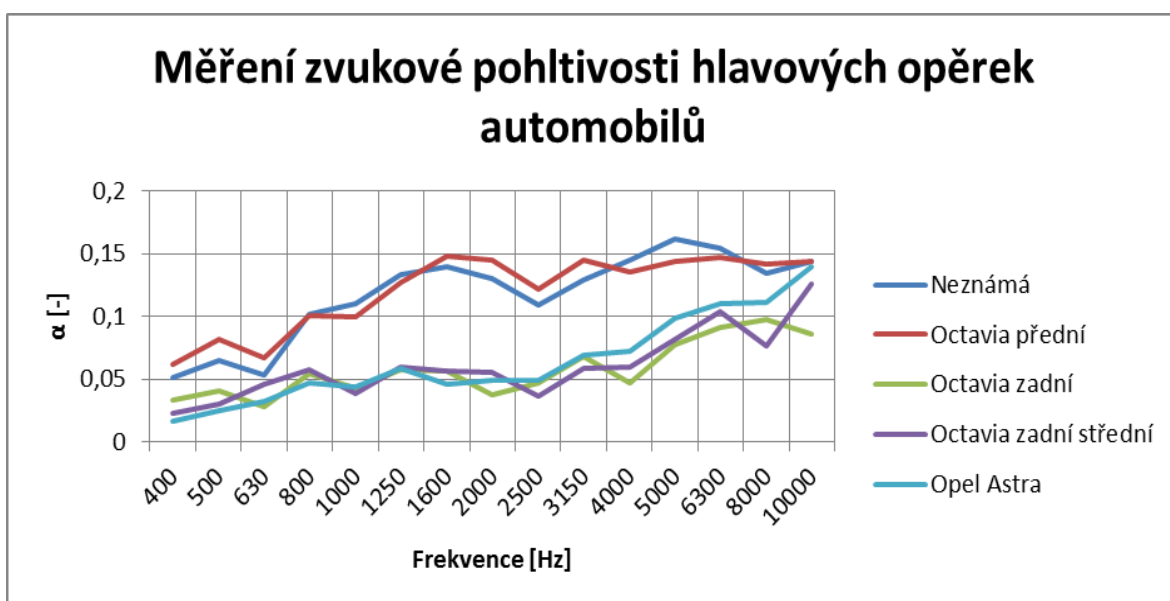


Obr. 21 Umístění koberečků v Alfa-kabině

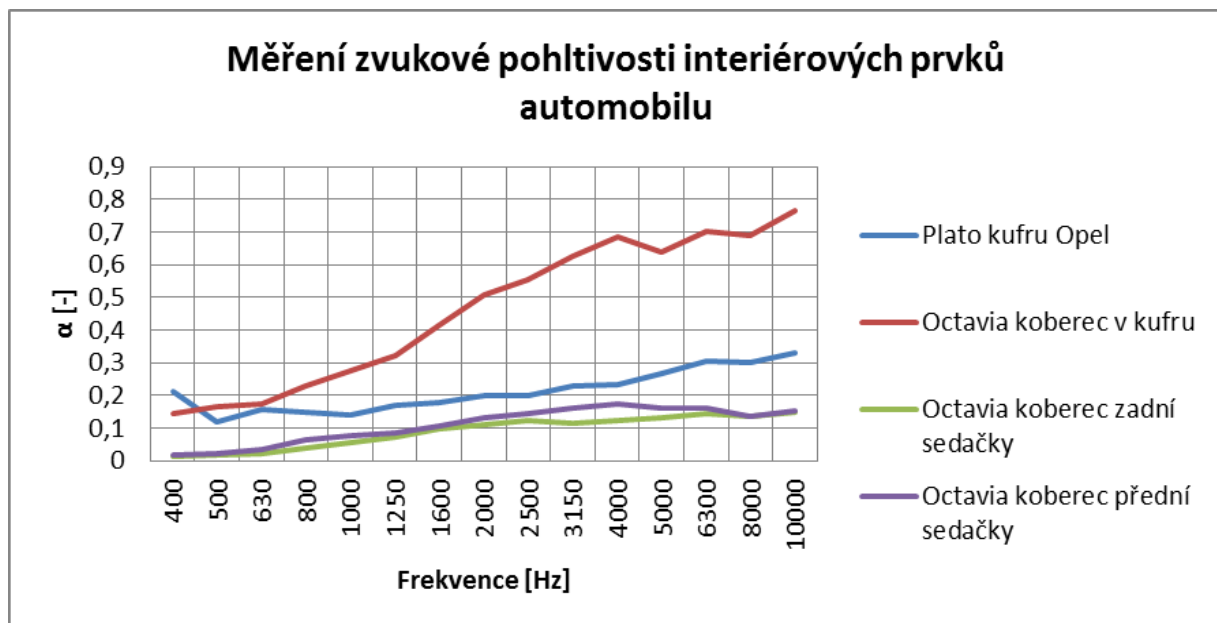
Výstupy měření jsou zobrazeny na následujících grafech a budou rozebrány v kapitole 3.3.



Graf 1 Výsledky měření zvukové pohltivosti plošných obkladů



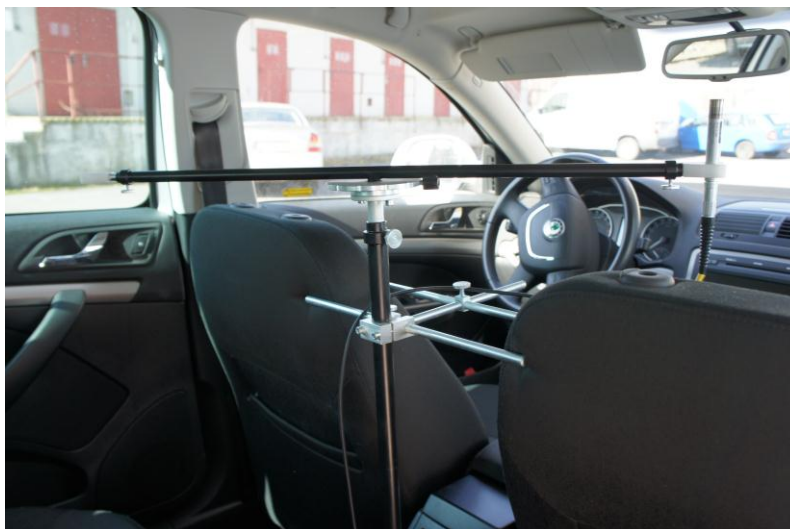
Graf 2 Výsledky měření zvukové pohltivosti hlavových opěrek automobilů



Graf 3 Výsledky měření zvukové pohltivosti interiérových prvků automobilů

3.2.2 Měření doby dozvuku uvnitř automobilu

Při měření v interiéru automobilu byla měřena doba dozvuku v závislosti na uspořádání interiéru. Reprodukční byl pouze jeden, umístěný v oblasti prostoru pro nohy spolujezdce. Mikrofon byl umístěn na otočném stojanu mezi sedadly, který byl během jednotlivých měření nastavován do pěti různých poloh.

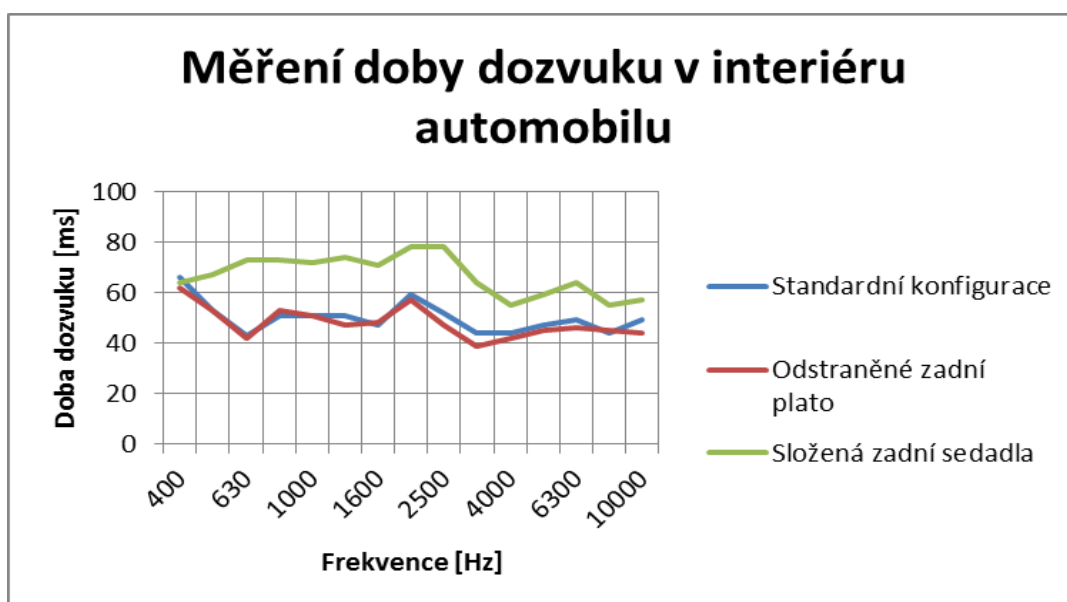


Obr. 22 Umístění mikrofónu v interiéru automobilu

Konfigurace interiéru byly následující. Nejprve se měřilo při standardním nastavení, ve druhém případě se vymontovala roleta kufru a při posledním měření byl interiér přestaven změnou složení zadních sedadel.



Obr. 23 Interiér automobilu se složenými sedadly



Graf 4 Výsledky měření zvukové pohltivosti hlavových interiérových prvků automobilů

3.3 Výsledky měření

Jak již bylo zmíněno dříve, měření nebylo prováděno za ideální vlhkosti ani teploty. Tato skutečnost určitou měrou ovlivnila výsledky.

První měření bylo typické ukázkové měření v Alfa-kabině - byl použit vzorek standardních rozměrů, ze stejného materiálu, různá byla pouze tloušťka. Výsledek měření potvrdil očekávání, že vzorek o větší tloušťce bude výrazně lépe pohlcovat nižší frekvence, zatímco rozdíl u vyšších

frekvencí nebyl tak výrazný. Absorpční koeficient vyšší než 1 vzniká vlivem okrajového efektu.

Další měření už byla víceméně experimentem, který měl za účel ověřit možnost měření neplošných nebo nestandardizovaných prvků.

Při druhém měření hlavových opěrek bylo zřejmé, že nejlepší absorpční koeficient mají opěrky „Neznámá“ a „Octavia přední“, které si jsou vzhledově velmi podobné a pochází obě pravděpodobně od stejného výrobce. Ostatní opěrky už měly koeficient výrazně nižší, což může být způsobeno pravděpodobně menší pohltivou plochou, vzhledem k prakticky stejnému materiálovému složení.

Poslední měření v Alfa-kabině byla pouze ukázka měření, která by za normálních okolností měla být použita jako porovnávací měření pro různé materiály o stejném rozměru vzorku. Při tomto ukázkovém měření vyšel nejvyšší absorpční koeficient u koberce z kufru automobilu, který byl v Alfa-kabině podroben zkoušce při posledním měření. Tento výsledek se dal čekat vzhledem k jeho výrazně větší ploše proti ostatním kobercům a pohltivšímu typu jeho materiálu. Limitem tohoto měření byly okraje předmětů, které ne zcela všude přesně lícovaly s povrchem.

Celkově měření v Alfa-kabině ukázalo očekávané výsledky a jako porovnávací měření podobných typů vzorků lze bez problémů použít.

Měření v interiéru automobilu mělo za cíl určit, jaký vliv má rozestavení interiéru na výsledek měření. Standardní konfigurace měla nejkratší dobu dozvuku, odinstalace zadního platu ji lehce zvýšilo a při složení zadních sedadel byla doba dozvuku největší. Přesnost měření jistě mírně ovlivnilo ne zcela ideální odstínění hluku z okolí.

Veškeré výstupy z měření, scan pracovní obrazovky a fotodokumentace jsou součástí přiloženého CD.

4 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá převážně zvukou pohltivostí materiálů, která je rozebrána jak v teoretické části, tak následně měřena v části praktické.

Teoretická část se zabývá akustikou a jejími základními pojmy, které by měly usnadnit orientaci v problematice pohlcování zvuku. Přiblíženy jsou dále různé typy akusticky pohltivých materiálů a v závěru kapitoly také rozebrány jednotlivé metody měření zvukové pohltivosti materiálů.

Praktická část se věnuje dvěma typům měření. První tři měření byla prováděna v Alfa-kabině v laboratořích KVM, druhý typ pak přímo v interiéru automobilu Škoda Octavia.

Měření v Alfa-kabině mělo sloužit především k zjištění vhodnosti použití Alfa-kabiny pro různé typy měření. Výsledky nám ukazují, že Alfa kabinu je vhodné používat jak pro měření plošných vzorků umístěných v rámu, tak i k měření plošných vzorků o nižší tloušťce. V takových případech je ovšem třeba postupovat pečlivě při umísťování vzorku, aby se eliminovalo odsazení okrajů vzorku od povrchu kabiny. Měření tvarových prvků nám ukázalo nejen to, že měření těchto prvků je v Alfa-kabině možné, ale především potvrdilo, že výsledky pro porovnávání vzorů jsou použitelné.

Měření v automobilu se zabývalo dobou dozvuku, která vycházela v závislosti na různých konfiguracích interiéru různě.

Při dalších měřeních v uzavřených prostorech by bylo vhodné zjistit, jaký vliv má umístění prvků (nastavení sedadla, úhel uchycení opěrky) na výsledky měření.

Seznam použité literatury

- [1] Nový, R.: Hluk a chvění. Praha: ČVUT, 2009, 400 stran, ISBN 978-80-01-04347-9

- [2] Čechura, J.: Stavební fyzika 10 - Akustika stavebních konstrukcí. Praha: Čvut, 1999, 173 stran, ISBN 80-01-01593-9

- [3] Mišun, V.: Vibrace a hluk. Brno: PC-DIR Real, spol. s.r.o., 1998, 180 stran, ISBN 80-214-1262-3

- [4] Smetana, C.: Hluk a vibrace, měření a hodnocení. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 stran, ISBN 80-901936-2-5

- [5] Vaňková, M.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II. Brno: VUT, 1996, 160 stran, ISBN 80-214-0818-9

- [6] Rieter (výrobce), Návod k obsluze Alfa-Kabiny, Rev. 1.2, červen 2008, AMAG-QWI-12-UM-019

- [7] Přednášky Environmentální fyzika, Zlín, UTB, [online], poslední revize 17.3.2011, [citace 15-4-2012], dostupné z WWW: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/

- [8] Wikipedia.org - Vnímání zvuku, [online], poslední revize 10.4.2012, [citace 15-4-2012], dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>

- [9] Akustické pole, [online], [citace 15-4-2012], dostupné z WWW: <http://biomechanika.fme.vutbr.cz>